

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales  
Curso 2018-2019

---

*Trabajo Fin de Grado*

Montaje y configuración de un dron de carreras.  
Estudio de empuje y autonomía

---

Javier Sanz Gómez

Tutora:

Marta María Moure Cuadrado

Leganés, 15 de marzo de 2019



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons  
**Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**



## TRABAJO DE FIN DE GRADO

# Montaje y configuración de un dron de carreras. Estudio de empuje y autonomía

Autor: Javier Sanz Gómez

Tutora: Marta María Moure Cuadrado

Firma del Tribunal:

Firma

- Presidente: Jorge Martínez Crespo
- Secretario: Pedro Martín Mateos
- Vocal: Carlos Guindel Gómez

En caso de ser necesario

- Suplente: Alba Carballo González



## **Resumen**

El presente trabajo realiza un estudio sobre los drones centrándose en dos cuestiones independientes y al mismo tiempo relacionadas, el montaje y la configuración de un dron desde su etapa más inicial y, por otro lado, el análisis del empuje y la autonomía del dron variando el peso y el ángulo de ataque de las palas, conocido como pitch.

Para ello, tras haber contextualizado la situación de los drones, se procede al montaje de un dron, definiendo los componentes necesarios y analizando cuáles son los componentes óptimos en cuanto a prestaciones, calidad y precio, así como sus accesorios. Una vez seleccionados los componentes se explica el proceso de montaje de todos ellos, terminando por la configuración de vuelo necesaria en la que se utiliza la herramienta Betaflight.

Tras el montaje y la configuración del dron de este trabajo se realiza un estudio empírico del empuje y la autonomía alterando las variables del peso y del pitch de las palas (unas palas del tipo 5x4.5x3 y otras del 5x5x3) y se observa que ambas variables tienen influencia sobre la autonomía del dron, siendo los resultados más relevantes que cuanto más pitch más autonomía consume y más empuje tiene el dron y que el peso posee una gran influencia sobre la autonomía. Además, se analiza el coste de todos los materiales y la mano de obra para la realización del proyecto.

Por todo lo analizado anteriormente, se concluye que en función de la finalidad concreta para la que quiera ser utilizado el dron, o la propiedad que se quiera resaltar, es conveniente potenciar unas variables sobre otras, y queda de manifiesto que existe un amplio campo de estudio sobre el que profundizar.

**Palabras clave:** Dron, montaje, empuje, autonomía, pitch, componentes, vuelo

## **Abstract**

The present project analyses drones by focusing on two main issues. On the one hand the process of assembly and drone's configuration; on the other hand, a study of the thrust and autonomy of the drone is made by varying the angle of attack of the blades, known as pitch.

After the contextualisation of drones, assembly is carried out by defining the necessary components and by analysing which of them are optimal in terms of performance, quality and price, as well as their accessories. Once the components are selected, the assembly process of all of them is explained, ending by setting the flight configuration with the Betaflight tool.

Subsequently, an empirical research about the thrust and the autonomy is carried out where variation of the pitch of the blades and weight are the variables, both of them have a direct influence on the drone's autonomy results. Also, the cost of all materials and labour for the completion of the project is analysed.

As a conclusion, depending on the specific purpose of the drone it is necessary to strengthen some variables over others. Moreover, there is a wide field of study to deepen.

**Key words:** drone, assembly, thrust, autonomy, pitch, components, flight

## **Agradecimientos**

En primer lugar, a mi tutora, Marta, por su predisposición, su paciencia y su disponibilidad. Por ayudarme en las distintas vueltas que ha dado este Trabajo de Fin de Grado. Por mostrar su sinceridad conmigo y apoyarme cuando es necesario.

En segundo lugar, a la comunidad “deDrones” por su ayuda y resolución de dudas cuando surgen problemas de montaje o configuración. En especial a Eric por los vídeos de su canal de YouTube que hicieron que me aventurara en este Hobby.

Del mismo modo, a mi familia por siempre darme apoyo en todo momento y la confianza depositada en mí. Desde el primero hasta el último día he sentido vuestro apoyo y vuestras energías.

También, Águeda por ser mi compañera de viaje y estar siempre dispuesta a echar una mano, por su cariño y entrega.

Sin olvidarme de mis cuatro “fieras”: Gina, Sultán, Kiro y Rocky. También a Rex, aunque ya no esté. Por ese amor incondicional que te da la vida en los momentos más duros. Porque siempre saben sacarte una sonrisa y hacer que te sientas importante para afrontar todos los problemas que surgen a lo largo del camino que es la vida.

Y a todo el que ha formado parte de esta aventura universitaria en mayor o menor medida. Gracias a ellos he tenido un gran crecimiento personal y profesional a lo largo de estos años.

## Contenido

Resumen.....	V
Abstract .....	VI
Agradecimientos.....	VII
Índice de figuras .....	X
Índice de tablas.....	XI
Lista de abreviaturas.....	XII
Introducción.....	1
1.1. Motivación .....	1
1.2. Objetivos .....	1
1.3. Aportaciones del Trabajo de Fin de Grado .....	2
1.4. Estructura de la memoria .....	2
Estado del Arte .....	4
2.1. Evolución del R/C.....	4
2.1.1. ¿Qué es un dron?.....	4
2.1.2. Tipos de drones .....	5
2.2. Presente y futuro de los drones .....	7
2.3. Legislación.....	9
2.3.1. Legislación de un dron para uso civil aficionado .....	9
2.4. Competición.....	10
2.4.1. Estilo libre.....	10
2.4.2. Carrera .....	11
Selección de componentes y accesorios.....	12
3.1. Frame .....	12
3.2. Placa controladora.....	13
3.3. Variadores (ESC).....	14
3.4. Motores .....	15
3.5. VTX .....	15
3.6. Cámara FPV .....	16
3.7. Batería.....	16
3.8. Palas .....	17
3.9. Leds.....	17



3.10.	Buzzer.....	18
3.11.	Piezas para el montaje .....	18
3.12.	Accesorios .....	18
3.12.1.	Emisora y receptor .....	19
3.12.2.	Gafas FPV .....	19
3.12.3.	Simulador .....	20
	Montaje Drone.....	21
	Configuración Drone.....	24
5.1.	Betaflight .....	24
5.1.1.	Protocolo del Receptor.....	24
5.1.2.	Modo de seguridad.....	25
5.1.3.	Modos .....	25
5.1.4.	OSD .....	26
5.2.	BIHeli.....	26
	Estudio de la Autonomía y empuje .....	28
6.1.	Influencia del pitch en el empuje .....	31
6.2.	Influencia del pitch de las aspas en la autonomía .....	32
6.3.	Influencia del peso en la autonomía del dron .....	34
	Presupuesto e impacto socio-económico .....	35
7.1.	Presupuesto .....	35
7.1.1.	Recursos Humanos .....	35
7.1.2.	Equipo y software informático .....	35
7.1.3.	Accesorios necesarios para el uso del dron y herramientas.....	36
7.1.4.	Componentes del dron .....	36
7.1.5.	Presupuesto Global .....	37
7.2.	Impacto socioeconómico .....	38
	Proyectos futuros y conclusiones .....	39
9.1.	Proyectos futuros .....	39
9.1.1.	Introducción de módulo GPS en el dron.....	39
9.1.2.	Instalación de un <i>buzzer</i> autónomo.....	40
9.1.3.	Emprendimiento.....	40
9.2.	Conclusiones.....	41
	Bibliografía.....	43

## Índice de figuras

Ilustración 1: Dron de salvamento marítimo [2] .....	1
Ilustración 2: Dji Matrice 600 Pro [6] .....	5

Ilustración 3: Avión R/C [3] y Ala fija Caipirinha [8] .....	6
Ilustración 4: Tipos de multirrotores [10].....	7
Ilustración 5: Dron de carreras de este trabajo .....	7
Ilustración 6: Dron para transporte de medicamentos [12] .....	8
Ilustración 7: Drones atravesando puerta (gate) [14] .....	11
Ilustración 8: Imagen del dron donde se aprecia el cuerpo .....	12
Ilustración 9: OSD .....	13
Ilustración 10: Omnibus F4SD V3 .....	14
Ilustración 11: Eachine 4in1 ESC 30A.....	14
Ilustración 12: Motor Drone .....	15
Ilustración 13: VTX.....	16
Ilustración 14: cámara FPV .....	16
Ilustración 15: Batería .....	17
Ilustración 16: Palas .....	17
Ilustración 17: Leds .....	18
Ilustración 18: Leds .....	18
Ilustración 19: emisora + receptor .....	19
Ilustración 20: Gafas FPV .....	19
Ilustración 21: LiftOff [19].....	20
Ilustración 22: Presentación componentes .....	22
Ilustración 23: Imagen lateral cuerpo desmontado.....	22
Ilustración 24: Imagen frontal cuerpo desmontado .....	23
Ilustración 25: Pestaña configuración Betaflight.....	24
Ilustración 26: Modo de seguridad Betaflight .....	25
Ilustración 27: Modos Betaflight.....	25
Ilustración 28: OSD Betaflight .....	26
Ilustración 29: BLHeli .....	27
Ilustración 30: Aspas 5x5x3 y 5x4.5x3 respectivamente .....	28
Ilustración 31: Báscula Jata .....	30
Ilustración 32: Vuelo en punto fijo con peso.....	30
Ilustración 33: Palas 5x4.5x3 .....	31
Ilustración 34: Palas 5x5x3 .....	31
Ilustración 35: Cargador ensayos (mA consumidos).....	32
Ilustración 36: Grafica comparativa aspas.....	33
Ilustración 37: Módulo GPS [17] .....	39
Ilustración 38: Buzzer autónomo [17] .....	40

## Índice de tablas

Tabla 1: Ensayos carga máxima .....	31
Tabla 2: Ensayos aspa amarilla .....	33
Tabla 3: Ensayos aspa morada.....	33
Tabla 4: Datos medios aspa amarilla.....	34
Tabla 5: Presupuesto Recursos Humanos.....	35

Tabla 6: Presupuesto Equipo y software informático.....	36
Tabla 7: Presupuesto accesorios y herramientas .....	36
Tabla 8: Presupuesto componentes dron .....	37
Tabla 9: Presupuesto global.....	37

### **Lista de abreviaturas**

AESA	Agencia Estatal de Seguridad Aérea
ATZ	Zonas de Transito de Aeródromo
ESC	Variador de velocidad
FAI	Federación Aeronáutica Internacional
FIZ	Zonas de Información de Vuelo
FPV	First Person View (Vista en primera persona)

GPS	Global Positioning System
Kv	Revoluciones por minuto por voltio de un motor
LRS	Long Range System (Sistema de largo alcance)
mA	Miliamperios
mAh	Miliamperios por hora
OSD	On Screen Display (Display en pantalla)
PDB	Power Distribution Board (Placa de distribución de energía)
PPM	modulación por posición de pulso
R/C	Radio Control
RAE	Real Academia Española
RPA	Remotely Piloted Aircraft (avión controlado de forma remota)
RPM	Revoluciones Por Minuto
RSSI	Received Signal Strength Indication (Indicador de fuerza de señal de recepción)
RX	Receptor de señales de control
TX	Transmisor de señales de control
UAS	Unmanned Aerial System (sistema aéreo no tripulado)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (vehículo aéreo no tripulado)
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle (vehículo aéreo de combate no tripulado)
VRX	Receptor de vídeo
VTX	Transmisor de video

# Capítulo 1

---

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Motivación

¿Quién no ha pedido un coche teledirigido por su cumpleaños? ¿O tal vez a los Reyes Magos? A lo largo de los años se ha evolucionado en el mundo del R/C y lo que reina hoy en día dentro del mismo son los cuadricópteros, también conocidos como drones.

Sin duda, los drones son una realidad incipiente que poco a poco se desarrollan y se utilizan para diversos fines. Hay algunos orientados a la grabación de vídeos aéreos, otros orientados a la competición, otros orientados a la diversión de los más pequeños e incluso otros orientados a salvar vidas.

La según estudios realizados en España se prevé que haya más de 51.400 drones de uso operativo y que se generen 11.000 puestos de trabajo para 2035 [1]. Como muchas cosas creadas por el hombre, depende del uso que les demos pueden ser para actividades beneficiosas o actividades perjudiciales, es por ello que a día de hoy aún se continúa estudiando como regularizar más en profundidad su uso.

Este trabajo se centrará en el estudio de componentes, el montaje y la configuración de un dron de carreras. Posteriormente también se realizará un estudio de la autonomía de la batería del dron variando el peso y el tipo de aspa del mismo



Ilustración 1: Dron de salvamento marítimo [2]

### 1.2. Objetivos

El objetivo global de este Trabajo de Fin de Grado es conseguir montar tu propio dron partiendo de cero y tener conocer la influencia del pitch de las aspas en la

autonomía del mismo. Este objetivo global se puede resumir en los siguientes objetivos individuales:

- Conocer los componentes y accesorios necesarios para iniciarse en el mundo de los drones.
- Seleccionar componentes y accesorios coherentes atendiendo a razones de calidad y precio.
- Montar el dron con los componentes seleccionados.
- Configurar el dron para poder volar.
- Demostrar la influencia del *pitch* en la autonomía del UAV.
- Analizar la influencia del peso en la autonomía del dron.
- Demostrar la diferencia de empuje entre palas con distinto *pitch*.

### 1.3. Aportaciones del Trabajo de Fin de Grado

La aportación de este Trabajo de Fin de Grado no conlleva la publicación de artículos científicos, pero si ayuda a que personas que quieran empezar en el mundo de la electrónica, y les guste el R/C y más en concreto los drones puedan tener un punto de partida para iniciarse en este mundo. Con este trabajo tienes una guía para montar, configurar y empezar a volar tu dron.

Por otro lado, el presente Trabajo de Fin de Grado también aporta un estudio sobre la autonomía del dron en función del peso recalando por ello la importancia que tiene el hecho de elegir unos componentes que pesen lo menos posible manteniendo una calidad y un precio razonables.

Así mismo, también analiza la influencia que tiene el *pitch* de las aspas en la autonomía y el empuje, dando de este modo una aportación para gente más avanzada en este hobby permitiendo una elección mejor de las aspas dependiendo del fin para el que vaya a ser usado el dron.

### 1.4. Estructura de la memoria

El presente Trabajo de Fin de Grado se divide en ocho capítulos, el primero esta introducción en la que se muestra la motivación del trabajo, los objetivos que se pretenden alcanzar, las aportaciones y por último esta estructura.

En el segundo capítulo, se expone el estado del arte que se divide en distintos apartados. En primer lugar, se hace un recorrido breve por la historia del radio control y se explica lo que es un dron y los distintos tipos de drones que hay. En segundo lugar, se estudia brevemente el presente y futuro que tendrán los drones en esta sociedad, también se aborda la legislación vigente para el vuelo de UAVs y por último se explican las competiciones que se realizan a día de hoy con estos vehículos no tripulados.

En el tercer capítulo, se explican los componentes que forman parte del dron, se explican los accesorios necesarios a la vez, se lleva a cabo la elección de componentes y accesorios atendiendo a que los mismos tengan una calidad y un precio razonables.

En el cuarto capítulo se explica paso a paso el ensamble de todas las piezas que hemos estudiado en el capítulo anterior. Aportando así una guía de ayuda a quién quiera empezar.

En el quinto capítulo se muestra como debe configurarse la placa controladora y los variadores para que todo funcione de manera correcta y poder disfrutar del vuelo del dron.

En el sexto capítulo es donde se realiza el estudio de la autonomía y el empuje. Esto tal y como se ha comentado en el apartado de aportaciones del Trabajo de Fin de Grado es un análisis para profundizar más en la autonomía de estos aparatos y es una de las aportaciones más importantes y complejas de este trabajo.

En el séptimo capítulo se muestra el presupuesto y se hace un pequeño análisis del marco socioeconómico.

En el octavo capítulo están expuestas las conclusiones y los futuros proyectos que se realizarán con el fin de mejorar el dron aquí diseñado y montado y también de profundizar más creando nuevos proyectos en forma de otros tipos de drones.

Por último, se puede encontrar la bibliografía utilizada y consultada durante el transcurso del Trabajo de Fin de Grado.



# Capítulo 2

---

## ESTADO DEL ARTE

### 2.1. Evolución del R/C

El Radiocontrol atrae a muchas personas, desde niños a adultos. Muchos juguetes llevan sistemas de control a través de un mando, ya sean coches, barcos, aviones, robots, hasta perros que hacen “pis”. Este trabajo se centrará en los drones, pero para contextualizar es necesario hacer un recorrido por los inicios del mundo del R/C.

Los primeros modelos de R/C se inventaron alrededor de 1900. El primero de ellos fue Nikola Tesla que dio a conocer una embarcación radiocontrol en el año 1898. Durante la Primera Guerra Mundial aparecieron los primeros drones que en realidad eran bombas teledirigidas y también se utilizaron como entrenamiento para las personas que manejaban los cañones antiaéreos.

A mediados del siglo XX se desarrollaron distintos modelos de coches y el primer modelo de avión R/C. A finales de la década de los 60 y principio de los 70 fue cuando se desarrollaron más tipos de vehículos: coches, aviones helicópteros, barcos.

Hasta llegar a los años 2000 que fue cuando aparecieron los “multicópteros” (esta palabra aún no está admitida en la RAE, pero seguramente lo esté en un futuro próximo). Y estos últimos, que se conocen como drones son los que más están creciendo en los últimos años. [3]

#### 2.1.1. ¿Qué es un dron?

Según la RAE se define como “Aeronave no tripulada” [4] por tanto todo vehículo que pueda volar y no tenga tripulación será un dron. Otras formas de denominar a un dron son por ejemplo UAV (Unmanned Aerial Vehicle), UAS (Unmanned Aerial System) que se refiere a un sistema, es decir un vehículo que puede ser autónomo, tener autopiloto. También pueden conocerse por las siglas UCAV (Unmanned Combat Aerial Vehicle) que se refiere a los vehículos estrictamente de combate que no son tripulados. Hace unos años, en Estados Unidos surgió el término RPA (Remotely Piloted Aircraft) que se refiere a los aviones radio control. [5]



Ilustración 2: Dji Matrice 600 Pro [6]

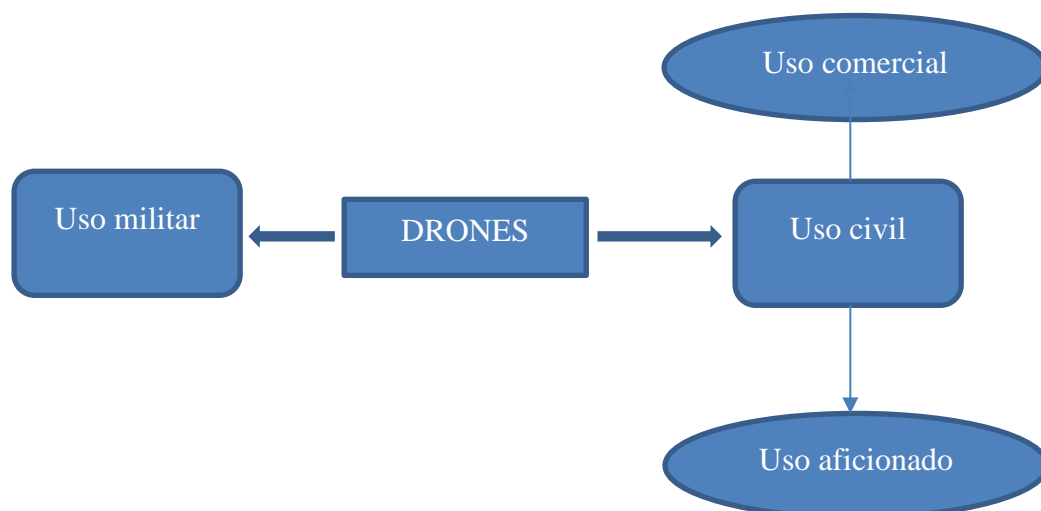
A día de hoy los drones tienen muchos usos: agricultura, vigilancia de eventos, control fiscal (vigilancia de terrenos), búsqueda de personas en catástrofes mediante cámaras infrarrojas, aplicaciones industriales (como el que aparece en la *Ilustración 2*), investigaciones geológicas y arqueológicas, o como simples juguetes entre muchos otros. Dependiendo del uso que se le vaya a dar se tendrán en cuenta las características que debe tener, como veremos a continuación hay muchos tipos de drones.

#### 2.1.2. Tipos de drones

Los drones se pueden clasificar por diferentes criterios ya sean por su utilidad o por su estructura. [7]

##### - Por su utilidad:

La clasificación de los drones por utilidad se divide en dos, uso militar y uso civil. Dentro del uso civil se distingue un uso comercial o uso como hobby o aficionado.



- **Por su estructura:**

Clasificando los drones por su estructura se dividen en dos grupos, los de ala fija y los de ala rotatoria.

Ambos utilizan la fuerza de sustentación definida en el efecto Bernoulli que explica cómo se genera una diferencia de presiones por las distintas velocidades del fluido que circula por el ala. La diferencia es que los de ala fija no generan movimiento en el ala y los de ala rotatoria hacen girar sus alas para poder volar.

○ Ala fija

Los drones de ala fija como se ve en la *Ilustración 3* son vehículos que tienen una mayor capacidad aerodinámica esto les permite tener una autonomía mayor ya que planean y no tienen necesidad de usar el motor en todo momento.



**Ilustración 3: Avión R/C [3] y Ala fija Caipirinha [8]**

○ Ala rotatoria

Dentro de esta clasificación se pueden distinguir los helicópteros (una o dos alas) y los multirrotores (3 o más alas).

Se debe saber que la estabilidad del dron es directamente proporcional al número de rotores que tenga el mismo, el consumo energético también está ligado de igual manera al número de rotores, cuantos más mayor es el consumo y la propulsión. [9]

En la siguiente imagen (*Ilustración 4*) se pueden observar un gran número de configuraciones de los multirrotores, no son las únicas puesto que se puede configurar un dron como se quiera, pero son las más comunes y conocidas:

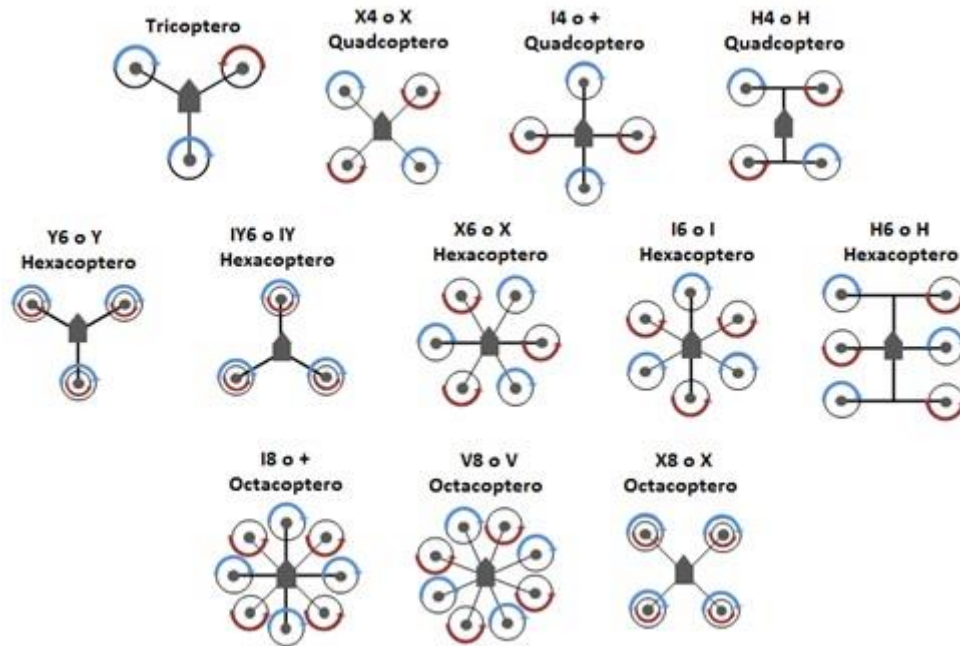


Ilustración 4: Tipos de multirrotores [10]

Este trabajo se centrará en el tipo X4 o X Quadcóptero (*Ilustración 5*) que es el más habitual en las carreras de drones.



Ilustración 5: Dron de carreras de este trabajo

## 2.2. Presente y futuro de los drones

Tal y como se ha expuesto en la motivación se prevé que en España los drones hayan generado más de 11.000 puestos de trabajo [1]. En los tiempos que corren y a la velocidad que avanza la tecnología no es difícil imaginar que en un futuro próximo los

drones formarán parte de la vida diaria, ya sea para aportar seguridad, vigilancia, ayuda en caso de emergencia, o entregar un paquete en casa en un tiempo record.

El futuro de los drones está claro que será fructífero, pero también pueden hacer mucho daño puesto que a día de hoy hay un gran descontrol en el uso de los mismos, cualquier persona puede comprar un dron y pilotarlo sin ni siquiera tener una formación o experiencia y pudiendo ocasionar daños a otras personas o a sí mismo. Es por eso que se debe regular su uso y tener un control sobre el mismo, a día de hoy se están llevando a cabo reformas sobre la legislación vigente para llegar a un punto en el que se alcance una seguridad para todos.

Los drones tendrán un amplio abanico de acción por ejemplo se utilizarán para el control de carreteras a día de hoy la DGT ya ha puesto en marcha alguna campaña de control mediante el uso de drones, en China incluso ya son usados para multar a conductores. [11]

También serán muy útiles en la medicina sobre todo para el transporte de fármacos en un tiempo mucho menor al que se conseguiría transportándolos por medios tradicionales como se observa en la *Ilustración 6*. O aportando seguridad y control en espectáculos y eventos. [11]

Por otro lado, los drones se podrán usar en instalaciones industriales facilitando las labores de mantenimiento, observando desperfectos en las mismas y evitando así que una persona se ponga en riesgo para realizar estas comprobaciones cíclicas. (*Curso realizado en Hevmav*)

La agricultura de precisión es otro de los ámbitos donde tiene cabida el uso de drones, recogiendo datos para ofrecer recomendaciones y hacer más eficientes los cultivos, así como tener estimaciones de producción y calidad de los mismos. A día de hoy ya se están llevando a cabo estas labores. (*Curso realizado en Hevmav*)



**Ilustración 6: Dron para transporte de medicamentos [12]**

## 2.3. Legislación

Toda la legislación referente a los drones se puede encontrar en la página oficial de la AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea). El marco regulatorio referente a los drones refleja lo siguiente:

*“El Consejo de Ministros aprobó el Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto, y se modifican el Real Decreto 552/2014, de 27 de junio, por el que se desarrolla el Reglamento del aire y disposiciones operativas comunes para los servicios y procedimientos de navegación aérea y el Real Decreto 57/2002, de 18 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Circulación Aérea.*

[...]

*Este reglamento contempla los distintos escenarios y requisitos en los que se podrán realizar operaciones aéreas especializadas, vuelos, actividades deportivas, recreativas, de competición o exhibición. Además, las condiciones ahora aprobadas se completan con el régimen general de la Ley 48/1960, de 21 de julio, sobre Navegación Aérea, y establecen las condiciones de operación con este tipo de aeronaves, además de otras obligaciones.” [11]*

La legislación a día de hoy se sigue reformando porque, aunque los drones como se ha visto se crearon hace años, el crecimiento de este mundo ha sido muy reciente, es por ello que se necesita regular y que poco a poco según surjan los problemas se reforme para llegar a una ley estable y que sea útil.

Como se ha visto anteriormente la clasificación de los drones por uso refleja que pueden ser de uso militar, civil profesional o civil aficionado, la legislación actual distingue entre estos tres modos de uso. En el caso de este trabajo el uso que se le va a dar al dron es un uso civil aficionado por tanto en el siguiente apartado se expondrán lo que se puede hacer y las restricciones para un dron con este fin.

### 2.3.1. Legislación de un dron para uso civil aficionado

En este apartado se hará un resumen claro y conciso, de la legislación para el uso de drones civil aficionado, para que de un rápido vistazo se pueda entender que se puede y que no se puede hacer con un dron de uso civil aficionado:

- Se podrá volar a una distancia mínima de 8 Km de cualquier aeropuerto o aeródromo partiendo del eje de las pistas. Esta restricción se puede reducir si se ha acordado con el gestor aeroportuario responsable de la infraestructura marcando así nuevos límites.

- Se podrá volar fuera del espacio aéreo controlado, las zonas de información de vuelo (FIZ) o zonas de tránsito de aeródromo (ATZ).
- No se podrá superar una altura máxima de 120 m sobre el obstáculo más alto situado dentro de un radio de 150 m.
- Se debe tener alcance visual del dron en todo momento sin uso de ningún dispositivo externo. En caso de ser FPV será necesario un observador que permanezca con el piloto.
- Se dará prioridad a todas las demás categorías de aeronaves.
- No se podrá volar sobre edificios en lugares habitados o reuniones de personas al aire libre, salvo que la aeronave sea de peso inferior a 250g y la altura máxima no sea superior a 20m.
- La aeronave debe llevar una placa identificativa ignífuga (esto se ha añadido recientemente).
- No será necesario la obtención de ninguna acreditación o licencia para el uso civil aficionado.

## 2.4. Competición

En este trabajo se quiere diseñar, montar y configurar un dron de carreras, el fin principal de esto es por diversión, aprendizaje, y gusto. Pero a día de hoy se puede acceder al mundo de la competición de forma fácil. Lo único que se debe hacer es que el dron cumpla la normativa de la carrera a la que se quiere asistir, pagar la inscripción y disfrutar. A día de hoy son pocos los pilotos de drones que gozan de patrocinadores que financien sus viajes, alojamientos e inscripciones, por lo tanto, la única dificultad es económica, aunque se puede financiar de manera propia si tienes los recursos suficientes.

Las carreras de drones se llevan celebrando desde hace un par de años por muchos países, en España la primera carrera avalada por la Federación Aeronáutica Internacional (FAI) se celebró en El Escorial (Madrid) en Julio de 2016. [12]

Hay dos modalidades, el *freestyle* (estilo libre) y la carrera, las baterías que se suelen usar en todos los casos son de tres o cuatro celdas, se diferencian las categorías por tamaño del dron (180mm, 220mm, 250mm) [13]. Dependiendo de la modalidad en la que se quiera participar deberás diseñar tu dron acorde a distintos parámetros y características, como se verá más adelante en este trabajo.

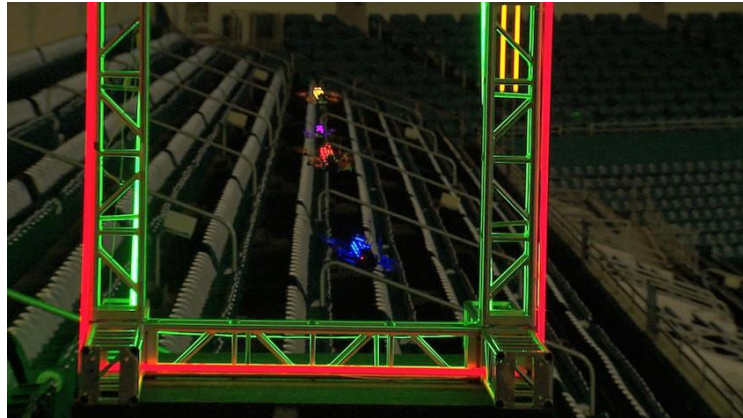
### 2.4.1. Estilo libre

En esta categoría se busca realizar maniobras arriesgadas para que el jurado las valore de manera positiva, pueden ser en primera persona (FPV) o en tercera persona es decir sin gafas. Es común que se combine el vuelo con música para dar más espectáculo.



#### 2.4.2. Carrera

Hay un circuito definido al cual el piloto debe dar vueltas atravesando las distintas puertas, como se ve en la *Ilustración 7* distribuidas por el mismo, en este caso también pueden ser en primera o tercera persona distinguiéndolas en dos categorías.



**Ilustración 7: Drones atravesando puerta (gate) [14]**



## Capítulo 3

---

### SELECCIÓN DE COMPONENTES Y ACCESORIOS

A lo largo de este capítulo se abordarán los componentes y accesorios necesarios para montar un dron de carreras, para ello se obtendrá la información del libro *DIY Drone and Quadcopter projects* [17], en él se explican todos los componentes necesarios así como tutoriales de montaje.

Todas las piezas que se van a emplear en el diseño y montaje serán compradas en Aliexpress [18]. A día de hoy la mayor oferta para drones de este tipo viene de China, es por ello que las piezas se compran allí. En España a día de hoy solo hay fabricantes de cuerpos de alta calidad que son de elevado coste. En este trabajo se intentará mantener una coherencia entre la calidad y el precio, para que el coste final no sea desorbitado.

#### 3.1. Frame

Es el cuerpo del dron, sobre el van montados todos los componentes. La mayoría de los cuerpos de drones de carreras están contruidos en fibra de carbono por su elevada resistencia ante impactos y su gran ligereza.

Hay cuerpos de tres tamaños 180 mm, 220 mm y 250 mm. En este caso se opta por el de 220mm por ser el más polivalente de los tres tamaños y servir para todas las competiciones ya sea freestyle o carrera.

El cuerpo elegido es el Eachine Wizzard x220s se puede ver en la siguiente *imagen*. Su precio de 14,69 € y su buena calidad son la clave de esta decisión.



Ilustración 8: Imagen del dron donde se aprecia el cuerpo

### 3.2. Placa controladora

La placa controladora es uno de los componentes más importantes del dron, es el procesador del cuadricóptero. En ella se encuentran distintas características y parámetros que la hacen importante:

- Micro-USB: La placa tiene un micro-USB para poder ser programada.
- Procesador: Recibe y procesa los datos para un correcto funcionamiento del dron.
- Giróscopo: Es una de las características más importantes de la placa ya que definen el rendimiento de la misma, el más usado en drones de este tipo es el MPU6000.
- Puertos UART: Son los puertos que están dedicados a la expansión de nuestra controladora, ya sea para controlar un módulo GPS un *Gimbal* o los variadores.
- Memoria flash: En ella se almacena la información de la controladora para poder analizar posteriormente el comportamiento del dron y sus sensores.
- OSD: On Screen Display, sirve para mostrar en la pantalla toda la información necesaria para el vuelo: voltaje de batería, tiempo de vuelo, altura, etc. En la siguiente *imagen* se muestra lo que es el OSD



Ilustración 9: OSD

En este caso se ha seleccionado una placa Omnibus F4SD V3 (*Imagen*) Por su precio asequible y buenas prestaciones.

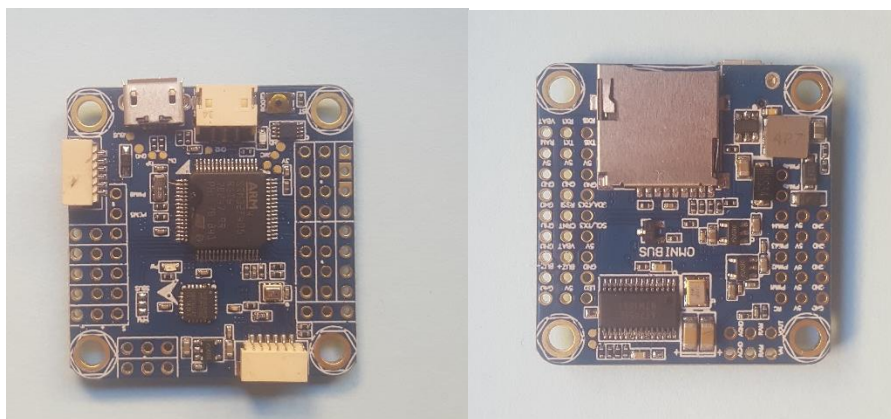


Ilustración 10: Omnibus F4SD V3

### 3.3. Variadores (ESC)

Los variadores de velocidad son los circuitos electrónicos que controlan la potencia que se entrega a los motores. Hay variadores individuales que se montan de manera independiente y necesitan una PDB (Power Distribution Board) y los denominados 4 en 1 que están integrados en la propia PDB.

Los variadores tienen un firmware que debe ser actualizado el más común es el BLHeli\_32 que es un protocolo de 32 bits. La clasificación de ESC se puede hacer también por el número de Amperios que soportan, a día de entrega de este trabajo están empezando a fabricar variadores de 50 Amperios, pero son muy caros.

En este caso se han seleccionado unos variadores 4 en 1 por su facilidad de montaje y su precio inferior, los seleccionados en esta ocasión son de la marca Eachine con protocolo BLHeli y 30A. Se pueden ver en la *imagen* inferior.

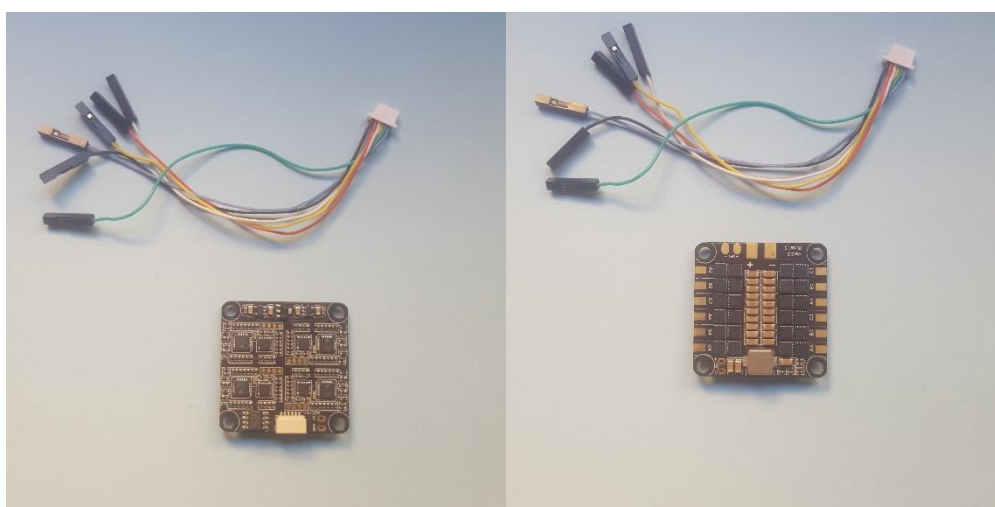


Ilustración 11: Eachine 4in1 ESC 30A

### 3.4. Motores

Los motores de los drones actuales son brushless es decir sin escobillas, su potencia se mide en Kv que significa rpm por voltio recibido, en este caso se han seleccionado unos motores de 2300Kv lo que quiere decir que a un voltaje de 15V darán 34.500 rpm. Son de la marca Eachine también y se pueden ver en la *imagen* inferior.

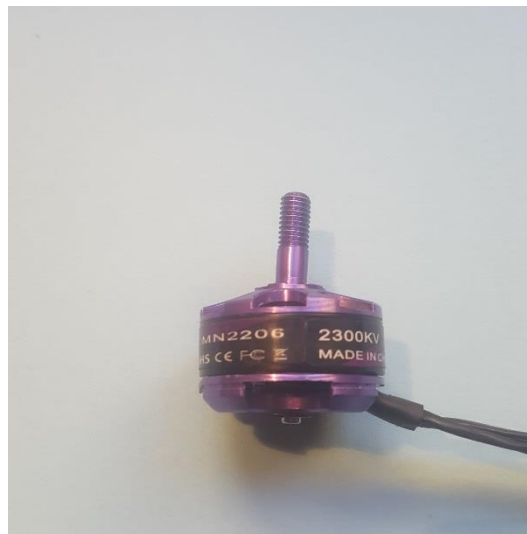


Ilustración 12: Motor Drone

### 3.5. VTX

Es el transmisor de video, el encargado de enviar la imagen a las gafas para poder pilotar, es fundamental que el VTX funcione a la mayor velocidad posible y transmita la imagen rápidamente. Los hay de muchos canales y de distintos mW el mayor de ellos es de 800 mW a día de hoy. Para este proyecto se ha seleccionado un VTX de 5.8 GHz y 72 canales de emisión, y configurable a 25mW, 200mW y 600mW de potencia. Así mismo se ha seleccionado una antena pagoda común para poder transmitir la imagen. Se muestra en la siguiente *imagen* el VTX.

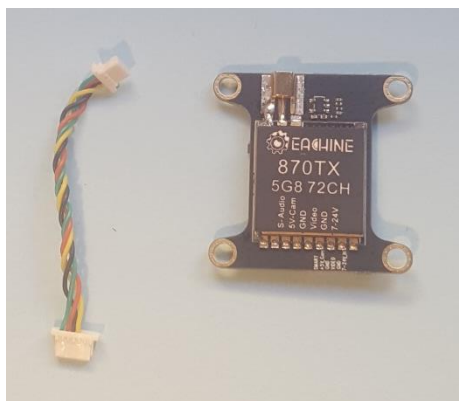


Ilustración 13: VTX

### 3.6. Cámara FPV

La cámara de primera persona es otra de las partes importantes del dron puesto que la imagen que transmita es lo que permite pilotar. En esta ocasión se ha seleccionado una 800 TLV, que tiene un precio asequible de 16,41€ para la calidad que aporta. Se muestra en la siguiente

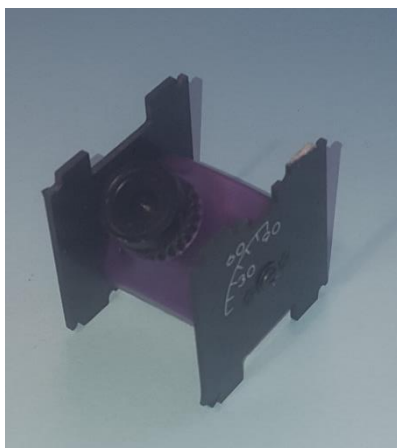


Ilustración 14: cámara FPV

### 3.7. Batería

Las baterías se clasifican por el número de celdas que tienen, lo más común son 4s (4 celdas) y 5S (5 celdas) actualmente se están abriendo paso las 6S, pero de momento lo que más predomina son las 4S, es por esa razón la decisión de comprar baterías 4s. Además, las baterías tienen distintas velocidades de descarga, lo recomendable para un dron de carreras son de 75C para arriba, en este caso se han seleccionado unas de 110C de descarga. Y la gran mayoría son de 1500 mA porque es lo más eficiente en cuanto a capacidad/peso. Abajo una *imagen* de ella.



Ilustración 15: Batería

### 3.8. Palas

Como se verá en capítulos posteriores las palas tienen gran influencia en el comportamiento del dron, en este caso se han seleccionado dos, 5x4.5x3 y 5x5x3. Estos números indican las medidas de las mismas, el primer número indica la longitud, el segundo indica el ángulo de ataque o *pitch* y el tercero el número de palas.



Ilustración 16: Palas

### 3.9. Leds

No es una pieza fundamental, pero si ayuda a la ubicación del dron en el cielo y a encontrarlo en caso de condiciones de poca luz. Una *imagen* de los led comprados.

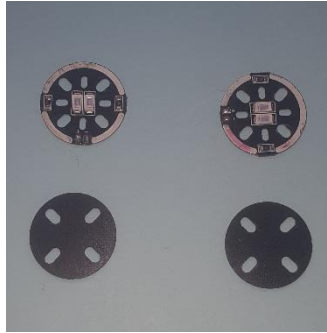


Ilustración 17: Leds

### 3.10. Buzzer

No es una pieza obligatoria para el funcionamiento del dron, pero desde la experiencia se puede decir que es imprescindible porque es la forma en la que el dron se “comunica” contigo, los distintos pitidos que emite reflejan los posibles problemas del mismo. En este caso se ha optado por un buzzer con leds integrados, como se ve en la *imagen*.

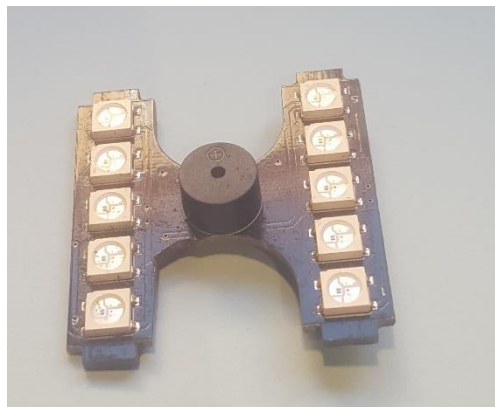


Ilustración 18: Leds

### 3.11. Piezas para el montaje

Se deben comprar distintas piezas para llevar a cabo el montaje, tales como cables, tornillería y protectores de motor.

### 3.12. Accesorios

Se definen como accesorios en este trabajo los elementos que no son configurables, pero sí que son necesarios y se deben comprar para poder usar el dron de manera correcta.

### 3.12.1. Emisora y receptor

La emisora es el aparato que controla el dron, acompañada de un receptor que se instalara dentro del cuerpo del mismo, es por ello que se debe elegir una emisora de buena calidad para que la señal emitida sea recibida de manera casi inmediata por el cuadricóptero. Se ha seleccionado la Flysky FS-i6



Ilustración 19: emisora + receptor

### 3.12.2. Gafas FPV

Las gafas FPV son las que nos permiten visualizar la imagen que recibimos del dron, en este caso se ha optado por unas gafas de gama media puesto que la gama superior es muy cara, unas Eachine VR D2 Pro, las vemos en la foto.



Ilustración 20: Gafas FPV



### 3.12.3. Simulador

Es importante tener un simulador para aprender a controlar el dron antes de volar en el exterior debido a que es necesario una práctica para poder controlar el multirrotor y tener un buen manejo del mismo. Evitando así posibles accidentes y también roturas de partes del dron.

En este caso se ha elegido el Simulador LIFTOFF (en la *ilustración inferior* tenemos su imagen corporativa) en su versión V0.12.9 por sus buenas valoraciones y su precio asequible 20 €.



Ilustración 21: LiftOff [19]

## Capítulo 4

---

### MONTAJE DRONE

Para el montaje del dron debemos usar varios utensilios: Soldador, estaño, alicates, destornilladores y multímetro son imprescindibles para realizar un buen montaje del mismo. Para el montaje del dron de este trabajo se ha seguido una guía gracias a la cual se han resuelto muchas dudas en el montaje. [20]

El primer paso a realizar es montar el cuerpo del dron ya que llega desmontado.

El siguiente paso es presentar todos los componentes para pensar la manera en que se pueden colocar, se han visto en el capítulo anterior todos los componentes del cuadricóptero, en la siguiente *imagen* están presentados de la manera en la que deben relacionarse, podemos distinguir 4 partes diferenciadas:

- El número 1 es el circuito de alimentación: Se alimenta la placa de los ESC mediante la batería. Esta placa se conectará a la Placa controladora mediante un puerto UART
- El número 2 es el circuito de potencia: Se compone por los variadores y los motores.
- El número 3 es el circuito de control: Está formado por el receptor y la placa controladora y es el encargado de recibir las órdenes del mando y transmitirlas al dron.
- El número 4 es el circuito FPV: se compone de la cámara, el VTX y la antena pagoda, también la placa controladora forma parte de él ya que en ella es donde se introduce el OSD a la imagen final.

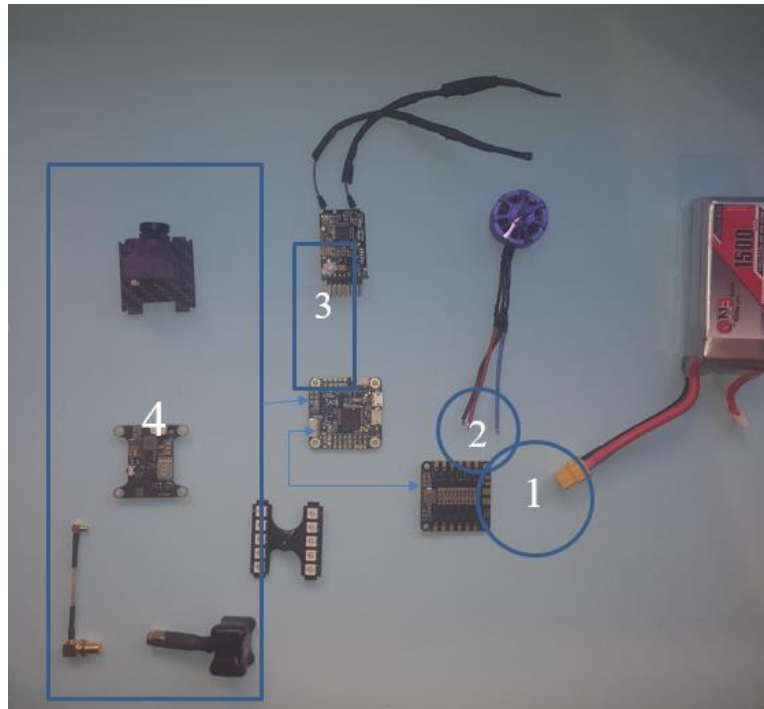


Ilustración 22: Presentación componentes

Una vez se ha pensado la forma de disponer todos los componentes dentro del cuerpo se procede a instalarlos en el cuerpo completando las conexiones necesarias, para ver cómo se interconectan cada uno de ellos, siguiendo paso a paso la guía de montaje [20] y los vídeos que esta presenta se interconectan todos los componentes llegando a tener el montaje final realizado, por último se cierra el cuerpo y, se montan las palas y ya tendremos el dron preparado para volar. En las dos *imágenes inferiores* podemos ver el cuerpo abierto para observar los componentes

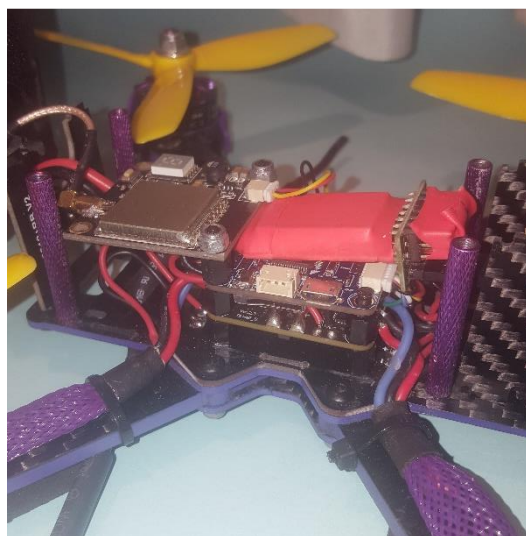


Ilustración 23: Imagen lateral cuerpo desmontado



**Ilustración 24: Imagen frontal cuerpo desmontado**

# Capítulo 5

## CONFIGURACIÓN DRONE

Para la configuración del dron será necesario programar la placa controladora e instalar el firmware a los ESC, para ello utilizaremos Betaflight y BLHeli respectivamente.

### 5.1. Betaflight

Para la configuración del dron utilizaremos una plataforma llamada Betaflight. Betaflight es una interfaz gráfica que nos permite programar la controladora de nuestro cuadricóptero de una manera sencilla sin conocer necesidad de conocer el lenguaje de programación. Es una plataforma de código libre por lo tanto su código fuente puede ser descargado y tiene una Wiki en la que se expondrán todas las utilidades y posibilidades que tenemos para configurar el multirrotor que queramos. Partiendo de la Wiki se puede aprender a configurar todo lo necesario [21].

La mayoría los parámetros que configura Betaflight por defecto en la placa controladora son válidos para que el dron pueda volar, pero hay algunos parámetros que conviene que sean cambiados. Es por ello que esta configuración se centrará en los parámetros importantes que necesitan ser modificados, dejando todos los demás parámetros para una futura configuración más avanzada.

#### 5.1.1. Protocolo del Receptor

Es importante configurar el protocolo que tiene el receptor para que se pueda comunicar con la placa controladora y de ese modo recibir nuestras señales de la emisora, los receptores vienen con un manual donde se explica cuál es el protocolo, los más conocidos son PPM y IBUS/SBUS. La configuración de estos se realizará en la pestaña configuración de Betaflight, como se muestra en la imagen.

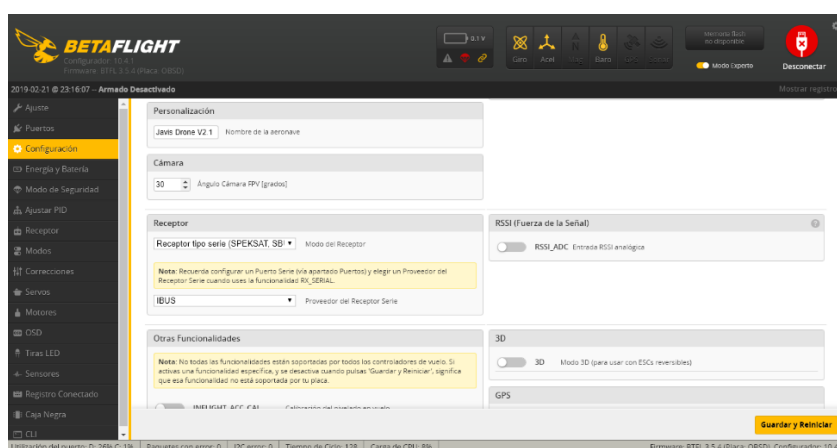


Ilustración 25: Pestaña configuración Betaflight

### 5.1.2. Modo de seguridad

El modo de seguridad también conocido como *Fail Safe* sirve para definir lo que debe suceder cuando el dron pierde señal. En el caso de los drones de carreras lo mejor es dejarlos caer el dron. Si este modo no se configura y se pierde la señal el dron no pararía de dar potencia a los motores hasta que no se acabara la batería, seguiría con la última señal recibida. En la siguiente imagen se muestra la pestaña de Modo de seguridad.

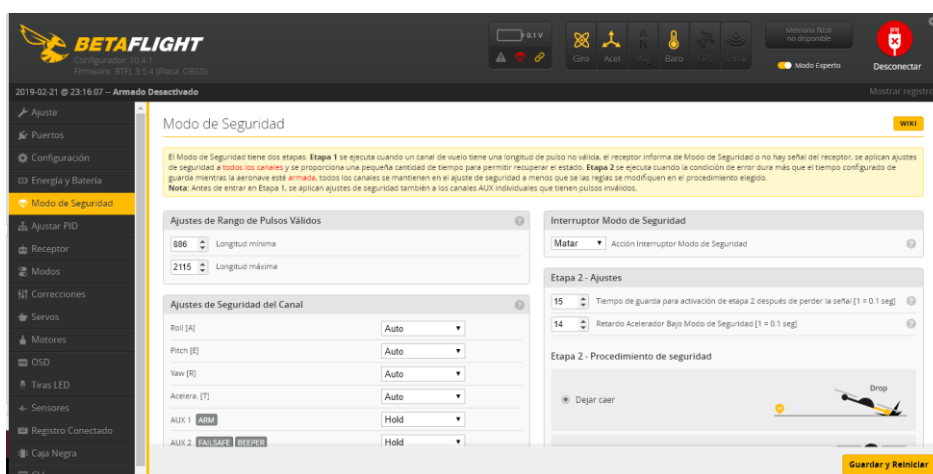


Ilustración 26: Modo de seguridad Betaflight

### 5.1.3. Modos

En la pestaña modos es donde se configura los modos de vuelo, todas las emisoras tienen *switches* y estos se configuran para que hagan la función que se quiera. Es en esta pestaña donde se le configura la función que debe hacer cada *switch*. Esta configuración se realiza en la pestaña Modos como se ve en la *imagen*.

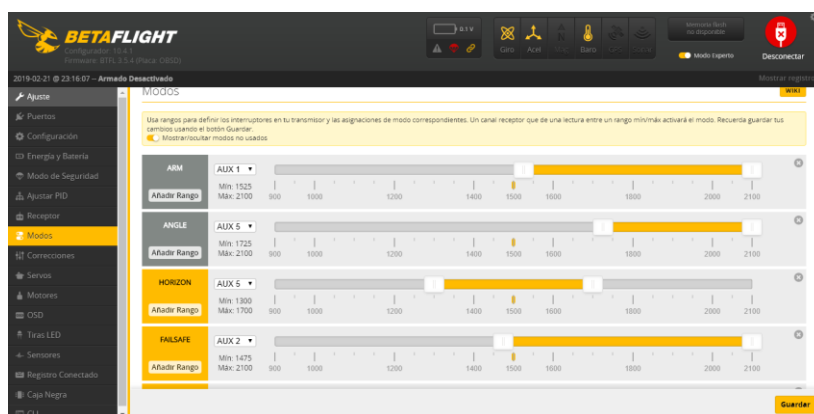


Ilustración 27: Modos Betaflight

### 5.1.4. OSD

Por último, se debe configurar el OSD (On Screen Display) como ya se ha visto en el capítulo de componentes, el OSD viene integrado en la placa controladora y aporta datos importantes en el vuelo, es por ello que es importante configurarlo. Se configura en la pestaña OSD como se ve en la siguiente *imagen*.

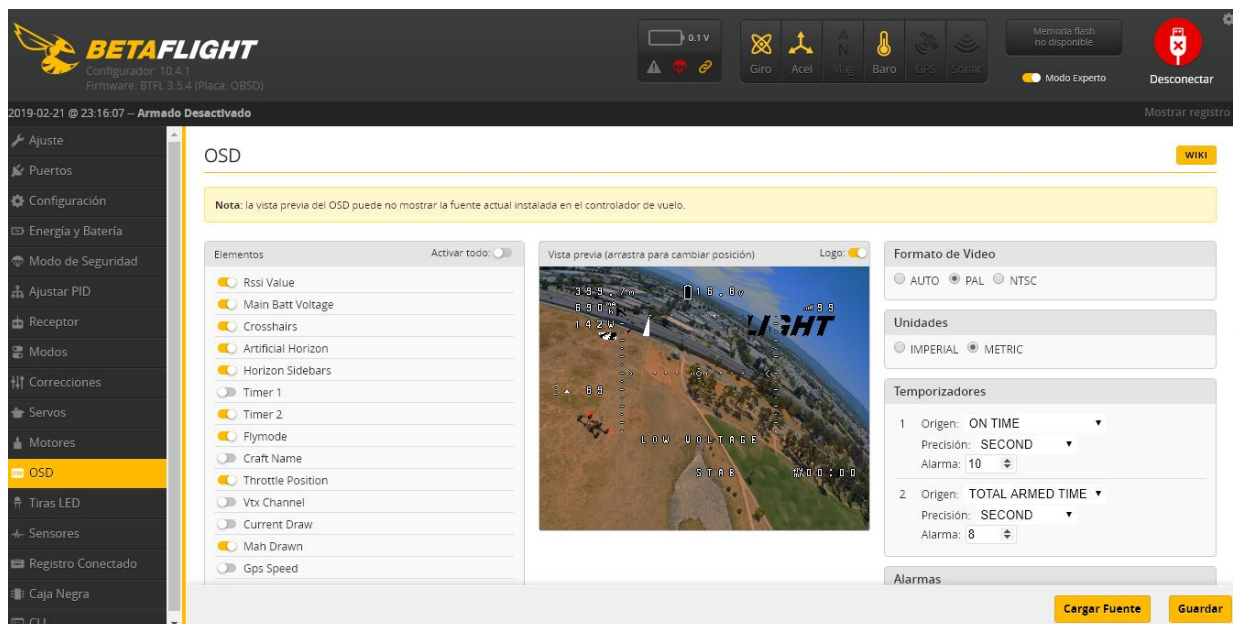


Ilustración 28: OSD Betaflight

### 5.2. BLHeli

BLHeli es una herramienta que nos permite instalar y actualizar el software de los variadores de velocidad de una manera sencilla. El motivo de que esta plataforma exista es que muchas veces los variadores se resetean si tienen algún problema y será necesario volver a reinstalar el firmware para que funcionen correctamente. En ocasiones cuando son nuevos también tienen este problema y deben ser configurados de manera correcta.

Para acceder a BLHeli se debe instalar la aplicación, del mismo nombre, en Google Chrome, se ejecutará a través del navegador. Una vez esté instalada, se tiene que conectar el dron por micro USB al ordenador y conectar la batería al dron. Se accede a la aplicación pulsando sobre el botón “Read Setup” y tras unos instantes de espera aparece la configuración de nuestros ESC y podremos “Flashearlos” con el nuevo firmware solo tenemos que ir a la web del fabricante e instalar el protocolo

correspondiente en el caso de nuestro dron es el A-H-25 en la versión 16.7. En la siguiente *imagen* se muestra BLHeli

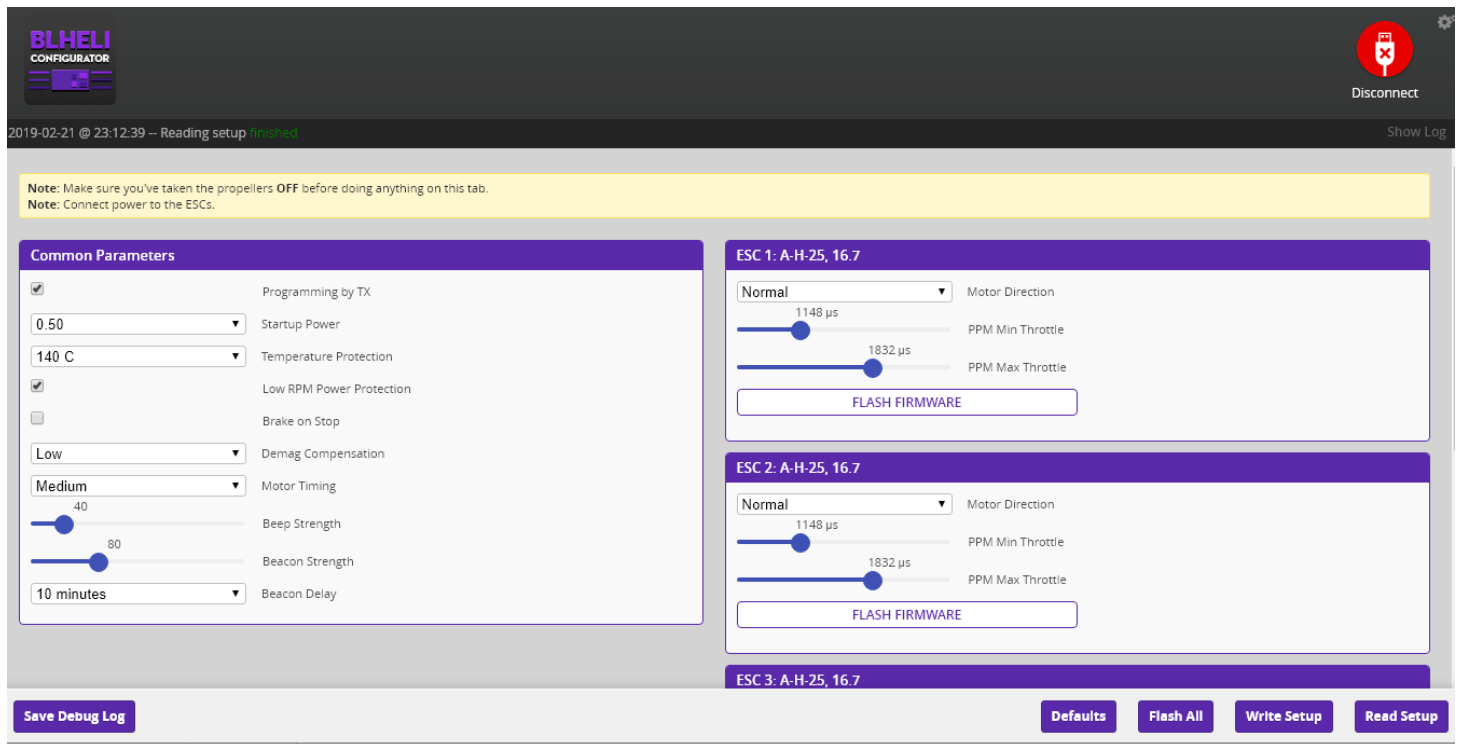


Ilustración 29: BLHeli



## Capítulo 6

### ESTUDIO DE LA AUTONOMÍA Y EMPUJE

Una vez ya se tiene el dron montado y configurado, en este capítulo se va a realizar un estudio para determinar tres cosas:

- Influencia del ángulo de ataque (*pitch*) de las palas en la fuerza de sustentación o empuje.
- Influencia del pitch en la autonomía
- Influencia del peso en la autonomía

Para ello se va a realizar un procedimiento experimental de vuelo a punto fijo. El experimento consistirá en hacer volar al dron en un punto fijo durante 30 segundos, repetiremos el experimento añadiendo peso al dron, cada vez más hasta alcanzar su límite. Esto se realizará con los dos tipos de pala distintas: 5x4.5x3 y 5x5x3 (*Ilustración inferior*). Que como ya se ha explicado anteriormente se refiere a las medidas de las mismas. La primera medida corresponde con el largo de las palas, en los dos casos 5 centímetros, el último número se corresponde con el número de palas que hay en este caso las dos son tripala y por último el número del medio es el que varía y se corresponde con el *pitch* (ángulo de ataque de las palas).

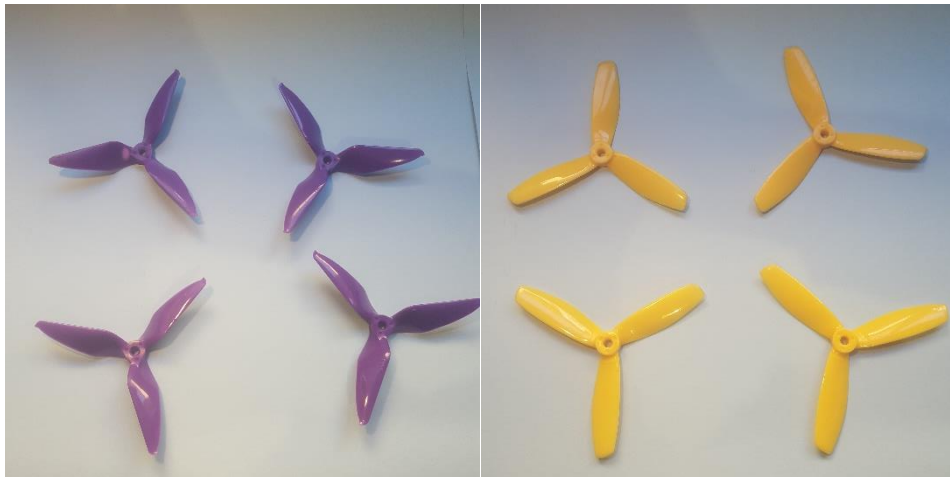


Ilustración 30: Aspas 5x5x3 y 5x4.5x3 respectivamente

Para el estudio que se va a realizar es necesario estudiar las ecuaciones que rigen el vuelo [17] estas son:

- Ecuación de conservación de la masa: [18]

$$\dot{m} = \int \rho \cdot \vec{v} \cdot d\vec{S} \rightarrow \dot{m} = \rho \cdot S \cdot (v_z + v_i) \quad (1)$$

- Ecuación de conservación de la cantidad de movimiento: [18]

$$\bar{T} = \int p \cdot d\bar{S} + \int \rho \cdot \bar{v} \cdot (\bar{v} \cdot d\bar{S}) \quad (2)$$

- Ecuación de conservación de la energía: [18]

$$E = \int \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (\bar{v} \cdot d\bar{S}) \cdot |\bar{v}|^2 \quad (3)$$

Se debe también tener en cuenta que a medida que la altura aumenta la densidad disminuye y, es por ello que se necesitará más potencia para mantener la altitud. En este caso de estudio este factor no influye ya que las variaciones de altura son despreciables, por ser casi iguales en todos los ensayos. La influencia de la densidad se puede apreciar en la siguiente ecuación [18]:

$$\rho(h) = \rho_0 \cdot \left( \frac{T_0 + \lambda \cdot h}{T_0} \right)^{\frac{g}{R \cdot \lambda} - 1} \quad (4)$$

Observando que depende de la altura, cuanto más grande sea la altura (h) menor será la densidad  $\rho(h)$ .

En el caso de vuelo a punto fijo se debe tener en cuenta que la velocidad relativa del rotor respecto al aire es cero [17]

También se debe estudiar el número de Reynolds para determinar los coeficientes aerodinámicos y los resultados teóricos que se reflejan es que cuanto mayor es el ángulo de ataque mayor es la sustentación [17].

Para realizar el experimento se va a utilizar un método rudimentario pero efectivo. El método consiste en atar al dron una garrafa de agua e ir añadiendo agua para añadirle el peso, de esta manera se podrá controlar el peso y variarlo para poder estudiar distintos parámetros.

Los materiales que se usan en esta comprobación empírica son los siguientes:

- Báscula de cocina

Es una báscula de marca Jata, normal y corriente con un error de 0,5 gramos (*Ilustración inferior*).



**Ilustración 31: Báscula Jata**

- Garrafa de agua y cuerda

Se utilizará una garrafa de agua de 5 litros y se atará al dron con una cuerda. Se añadirá agua para estudiar la influencia del peso a 0,5 kg, 1 kg, 1,5 kg, y 2 kg.

- Dron

El dron montado en este trabajo.

En la siguiente imagen (*Ilustración inferior*) se muestra un momento del experimento con el dron en vuelo a punto fijo y levantando la garrafa con agua.



**Ilustración 32: Vuelo en punto fijo con peso**

Las dos variables de este experimento son el peso y las palas (que tienen diferente pitch). En las siguientes imágenes (*dos ilustraciones inferiores*) se puede observar la diferencia del ángulo de ataque entre ellas. Las líneas se dibujan sobre la inserción en el eje de las aspas:

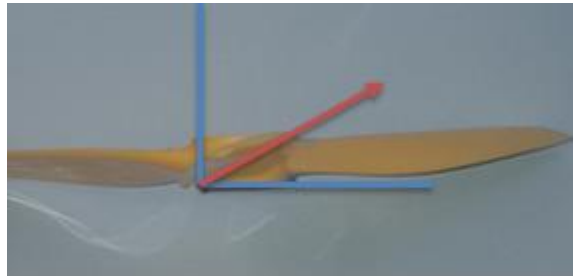


Ilustración 33: Palas 5x4.5x3



Ilustración 34: Palas 5x5x3

La diferencia en el ángulo de ataque es notable y es lo que procederemos a estudiar en los siguientes apartados.

### 6.1. Influencia del pitch en el empuje

Para conocer la influencia del *pitch* en el empuje o la fuerza de sustentación lo que se ha añadido mucho peso a la garrafa para que el dron la levantara, y se ha tomado el máximo valor que el cuadricóptero ha conseguido levantar con cada una de las dos palas, este ensayo se ha realizado cinco veces, con la misma batería para evitar posibles efectos de degradación de una batería con respecto a otra.

Los resultados de peso máximo obtenidos se presentan en la siguiente *tabla*:

Ensayos	Aspa 5x4.5x3	Aspa 5x5x3
Ensayo 1	2251 g	2452 g
Ensayo 2	2127g	2532 g
Ensayo 3	2229 g	2489 g
Ensayo 4	2236 g	2403 g
Ensayo 5	2258 g	2435 g

Tabla 1: Ensayos carga máxima

Analizando los resultados de la tabla podemos afirmar que la fuerza de sustentación o empuje es mayor en el aspa 5x5x3. Tal y como se preveía, debido a que la velocidad a la que mueve el aire una pala con mayor pitch más elevada.

## 6.2. Influencia del pitch de las aspas en la autonomía

Para analizar el efecto del *pitch* en la autonomía del multirrotor se utilizará el mismo método experimental, con una garrafa atada al dron le añadiremos peso. En este caso el peso lo variaremos desde 0 Kg hasta 2 Kg en tramos de 0,5 Kg. No se tendrá en cuenta el peso del dron, ni el de la garrafa, ni el de la cuerda porque son invariables en todo el experimento y por tanto solamente se estudiará la influencia del peso que se añade, y como con los distintos *pitch* esto afecta a la autonomía. Del mismo modo que antes se realizará durante 30 segundos

Para cómo afecta a la autonomía del dron se realizarán los ensayos con las baterías completamente cargadas, una vez realizado el ensayo se volverán a cargar y el cargador reflejará la cantidad de mA que se han introducido de nuevo a la batería y por tanto los que se han consumido durante el ensayo. En la siguiente *imagen* se observa el cargador tras el primer ensayo:



Ilustración 35: Cargador ensayos (mA consumidos)

Se presentan a continuación las dos tablas de los resultados obtenidos con cada una de las aspas, el experimento consta de 5 ensayos por aspa y por peso

- Ensayos Aspa 5x4.5x3:

Aspa 5x4,5x3 (mA)	0 Kg	0,5 Kg	1 Kg	1,5 Kg	2Kg
Ensayo 1	111	228	308	443	534
Ensayo 2	109	232	305	441	539
Ensayo 3	105	225	298	435	545
Ensayo 4	115	242	312	432	550
Ensayo 5	112	227	315	449	520
Media	110,4	230,8	307,6	440	537,6

Tabla 2: Ensayos aspa amarilla

- Ensayos Aspa 5x5x3:

Aspa 5x5x3 (mA)	0 Kg	0,5 Kg	1 Kg	1,5 Kg	2Kg
Ensayo 1	117	289	382	507	657
Ensayo 2	132	293	375	496	645
Ensayo 3	125	278	392	499	654
Ensayo 4	110	278	381	502	647
Ensayo 5	118	293	388	509	660
Media	120,4	286,2	383,6	502,6	652,6

Tabla 3: Ensayos aspa morada

A simple vista se puede ver que independientemente del peso, las aspas 5x4.5x3 consumen menos mA que las 5x5x3, aun así, se exportan los datos a un gráfico para que se aprecie la diferencia:

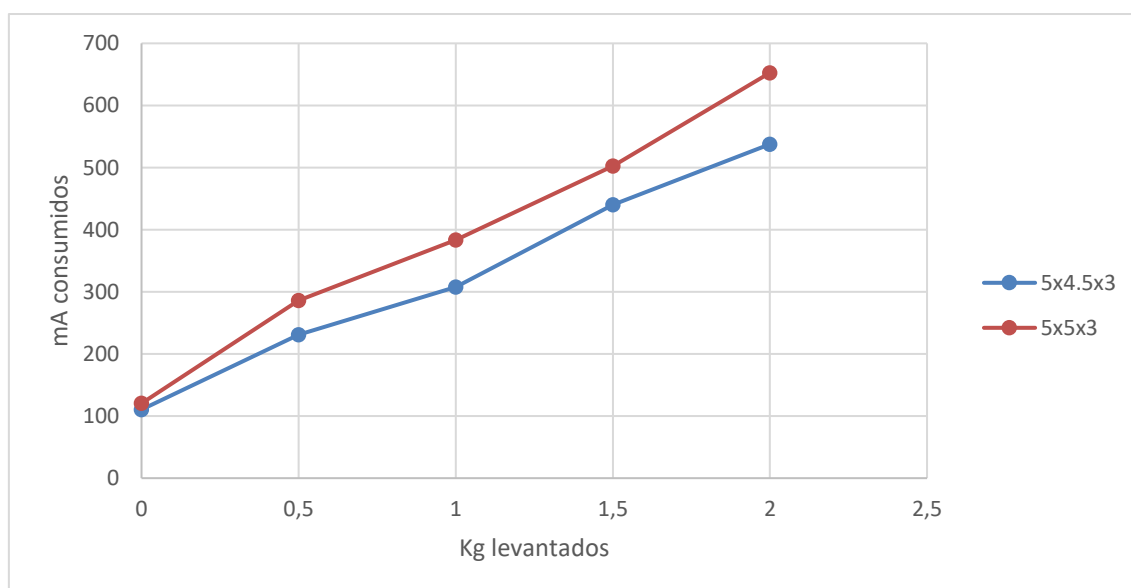


Ilustración 36: Grafica comparativa aspas

Se puede concluir que cuanto mayor es el *pitch* el consumo de batería es mayor y por tanto la autonomía del dron es menor, esto se debe tener en cuenta a la hora de elegir las palas, según cual sea la finalidad del cuadricóptero. Si se busca una autonomía mayor se deben poner palas con menos *pitch*.

### 6.3. Influencia del peso en la autonomía del dron

La última fase de este estudio determina la influencia del peso en la autonomía, es evidente que cuanto mayor peso, si las demás condiciones se mantienen invariables el consumo será mayor y la autonomía por tanto menor, pero se puede demostrar de forma matemática.

Se selecciona el aspa con menor consumo, el 5x4.5x3, y se cogen los datos medios para realizar este análisis.

Aspa 5x4,5x3 (mA)	0 Kg	0,5 Kg	1 Kg	1,5 Kg	2Kg
Media	110,4	230,8	307,6	440	537,6

Tabla 4: Datos medios aspa amarilla

En los datos se observa que por cada salto de peso hay un aumento de consumo de entre 80 y 130 mA aproximadamente. Las diferencias de consumo pueden deberse a las fluctuaciones en el vuelo en el momento de los ensayos.

Entre el consumo en vacío y con 2 Kg hay una diferencia de 427,2 mA. En total se han añadido 2000g y el dron ha estado en vuelo durante 30 segundos. Es por tanto que calculando los mAh se puede afirmar que aproximadamente por cada 100 gramos que se añadan el consumo aumenta 21,36 mA en 30 segundos. Haciendo el porcentaje se obtiene que por cada 100 gramos de peso que se añadan el consumo aumentará un 20%.

## Capítulo 7

---

### PRESUPUESTO E IMPACTO SOCIO-ECONÓMICO

#### 7.1. Presupuesto

El presupuesto para la realización de este trabajo se dividirá en 5 partes: Recursos Humanos, equipo y software informático, accesorios necesarios para el vuelo del dron, herramientas utilizadas, y componentes del dron. Por último, se hará un presupuesto global.

##### 7.1.1. Recursos Humanos

Se contabilizarán los recursos consumidos durante el estudio, investigación, puesta en marcha y realización del trabajo. Se estimará una tasa media de 12 €/h.

Recursos humanos	
Horas dedicadas	650 horas
Tasa media	12 €/hora
Número de personas	1 persona
<b>Total</b>	<b>7.800,00 €</b>

Tabla 5: Presupuesto Recursos Humanos

##### 7.1.2. Equipo y software informático

Para la configuración del dron y la realización del trabajo no es necesario tener un ordenador de gran potencia. Los softwares para la configuración además son

código libre por lo tanto no tienen influencia en el coste del proyecto. Se expone en la siguiente *tabla*:



<b>Equipo y software informático</b>	
<b>Equipo y software</b>	<b>Precio</b>
Ordenador gama-media	350,00 €
Windows 10 + Microsoft Office*	- €
Betaflight	- €
BlHeli	- €
Simulador LiftOff v0.12.9	20,00 €
<b>Total</b>	<b>370,00 €</b>

**Tabla 6: Presupuesto Equipo y software informático**

\*Licencia de Windows 10 + Microsoft Office obtenida gracias a la Universidad.

### 7.1.3. Accesorios necesarios para el uso del dron y herramientas

Se realizará el presupuesto de los accesorios necesarios para poder utilizar el dron: emisora, gafas FPV, cargador de baterías. Así mismo, se añadirán las herramientas utilizadas para el montaje del dron. Se muestra en la siguiente *tabla*:

<b>Accesorios necesarios para el uso del dron y herramientas</b>			
<b>Accesorios y herramientas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio total</b>
Gafas FPV Eachine VR D2 Pro	1	70,25 €	70,25 €
Emisora Flysky FS-i6 + receptor FS-ia6b	1	36,28 €	36,28 €
Cargador IMAX B6	1	14,56 €	14,56 €
Soldador de estaño	1	18,00 €	18,00 €
Estaño	1	1,53 €	1,53 €
Destornillador con distintas puntas	1	9,98 €	9,98 €
Llave fija de 8"	1	1,30 €	1,30 €
<b>Total</b>			<b>151,90 €</b>

**Tabla 7: Presupuesto accesorios y herramientas**

### 7.1.4. Componentes del dron

En este apartado se tendrán en cuenta los componentes del dron. Además, se incluirá una partida de recambios, esta se debe a los desperfectos sufridos durante las pruebas de manera general, todo ello queda reflejado en la siguiente *tabla*:

Componentes dron			
Componentes	Unidades	Precio unitario	Precio total
Cuerpo del dron Eachine Wizard X220S	1	14,69 €	14,69 €
2206 2300KV motor CW	2	6,95 €	13,90 €
2206 2300KV motor CCW	2	6,95 €	13,90 €
Eachine 30A BLHELI_S 4 in 1 ESC	1	35,57 €	35,57 €
Omnibus F4 SD V3	1	18,32 €	18,32 €
800TVL camera	1	16,41 €	16,41 €
Eachine VTX 5.8G 72CH 25-600 mW	1	8,65 €	8,65 €
Kit de 20 palas 5x5x3 (moradas)	1	8,59 €	8,59 €
Kit de 20 palas 5x4.5x3 (amarillas)	1	7,47 €	7,47 €
Batería 1500mAH 4S 14.8V 110C	5	22,50 €	112,50 €
Antena pagoda	2	5,84 €	11,68 €
Kit de cables	1	8,90 €	8,90 €
Kit de conectores	1	3,50 €	3,50 €
Kit de Tornillería	1	10,25 €	10,25 €
Partida de recambios	1	35,00 €	35,00 €
<b>Total</b>			<b>319,33 €</b>

Tabla 8: Presupuesto componentes dron

#### 7.1.5. Presupuesto Global

En este presupuesto global, tendremos se unificarán todas las partes anteriores. No se han tenido en cuenta gastos como luz o calefacción porque se incluyen en la partida de la tasa media de los recursos humanos. Los costes finales se encuentran en la siguiente *tabla*:

Presupuesto global	
Partidas	Coste
Recursos humanos	7.800,00 €
Equipo y software informático	370,00 €
Accesorios necesarios para el uso del dron y herramientas	151,90 €
Componentes dron	319,33 €
<b>Total</b>	<b>8.641,23 €</b>

Tabla 9: Presupuesto global

El trabajo realizado ha sido presupuestado en casi 9.000 € la mayoría de ese coste es debido a mano de obra casi un 90% del total. La reducción de esta partida en futuros proyectos será elevada debido a que hay una parte de investigación que ya está hecha y por tanto podrá ser rentabilizada.

## 7.2. Impacto socioeconómico

El impacto socioeconómico del dron de este trabajo no es negativo, ni positivo, se puede decir que es casi nulo debido a que es un dron para uso personal y de manera aficionada. Pero yendo más allá el hecho de haber configurado un dron desde cero, y explicar paso a paso el proceso, desde la selección de los componentes, hasta el montaje y su posterior configuración hace posible que otras personas puedan comenzar en esta labor e incluso seguir aprendiendo ya que muchos de los conocimientos que adquieren acerca de este tipo de aparatos es de libre uso.

El hecho de que haya páginas de código libre donde se puede usar el software generado por otras personas hace que el aprendizaje conjunto y la mejora de los sistemas tenga un crecimiento muy rápido.

Como se ha visto el buen futuro de los drones es muy palpable y cada vez se van a ir mejorando los sistemas y el hardware, y si una persona aprende a crear desde cero un dron, se puede aspirar a que alguien que se interese en el este tema pueda generar nuevas empresas dedicadas al ámbito de los drones, generando así un movimiento económico en la sociedad y posibles puestos de trabajo.

Tal vez algún día este Trabajo de Fin de Grado inspire a alguien para aventurarse a crear un dron e investigando un poco más, crear algo que sirva de ayuda a la sociedad, nunca se sabe dónde puede nacer una buena idea para generar un impacto positivo en la sociedad.

# Capítulo 8

---

## PROYECTOS FUTUROS Y CONCLUSIONES

### 9.1. Proyectos futuros

#### 9.1.1. Introducción de módulo GPS en el dron

Uno de los proyectos futuros para continuar mejorando este dron es la introducción de un módulo GPS el cual permitiría posicionar el multirrotor mediante coordenadas pudiendo de este modo tener ubicado el dron con una gran precisión.

La razón por la que este módulo GPS es necesario es porque en ocasiones se puede llegar a tener un accidente con el dron, cayendo el mismo en un paradero desconocido, y haciendo imposible su localización mediante la escucha del *buzzer*. Por tanto, ocasionaría una pérdida económica en cuanto a materiales, mano de obra y si se está llevando a cabo algún proyecto en ese determinado momento ocasionaría la pérdida de los posibles datos recopilados.

En caso de que el dron cayera y al golpear el suelo perdiera la batería se nos quedarían marcadas en la pantalla de las gafas la última ubicación registrada antes de que la batería se desconectara. Pudiendo así llegar a la zona del impacto y aumentando notablemente las posibilidades de recuperar el artefacto y los datos que el mismo tuviera.

Estos módulos son de una instalación sencilla, solamente necesitan ser conectados a la placa mediante uno de los puertos UART de la misma y posteriormente necesitan ser configurados en Betaflight para que la placa reconozca que se le ha conectado un módulo GPS y que envíe la información que le transmite el mismo a las gafas FPV.

El precio de estos componentes no es muy elevado, se pueden encontrar por un precio de unos ocho euros hasta treinta, dependiendo del modelo y la calidad. En la siguiente Imagen se muestra uno de estos módulos.



Ilustración 37: Módulo GPS [17]

### 9.1.2. Instalación de un *buzzer* autónomo.

El objetivo final de la instalación de este módulo es muy similar al del caso anterior, se instala con el fin de encontrar el dron en caso de pérdida de señal o accidente.

El módulo está formado por un *buzzer* y una pequeña batería que le otorga una autonomía de varias horas.

El funcionamiento de este pequeño componente consiste en que cuando la batería se desconecta, si tu no pulsas un botón el zumbador comenzará a emitir un pitido intermitente a un volumen fuerte. La finalidad es que si el piloto sabe aproximadamente donde ha caído el cuadricóptero y busca más o menos en la zona del impacto podrá escuchar el chirriante pitido y encontrar el dron. En caso de una desconexión normal de batería, realizada de manera consciente se deberá pulsar el botón que incorpora este módulo para que no emita el sonido. En la siguiente *imagen* se puede observar un zumbador autónomo.



Ilustración 38: Buzzer autónomo [17]

### 9.1.3. Emprendimiento

Tras la realización de este trabajo por las horas dedicadas, el tiempo invertido en investigación y en montaje y configuración del dron, se han adquirido habilidades suficientes para pensar en desarrollar una idea de negocio.

Evidentemente, tanto la formación como la investigación debería continuar para poder desarrollarlo de una manera correcta y con mayor conocimiento de la situación y del entorno en el que se desarrollaría la empresa.

Todo ello trae consigo la posibilidad de crear drones a petición del cliente, asesorando en el uso de unos componentes u otros, y montando los drones atendiendo a las necesidades que exponga el potencial cliente dependiendo de la actividad a la que se destine el proyecto, no tienen por qué ser las carreras. Como se ha comentado en el trabajo los drones tienen muchas aplicaciones y en un futuro tendrán muchas más es por ello que puede ser una buena oportunidad para iniciar un negocio.

## 9.2. Conclusiones

A lo largo de este Trabajo de Fin de Grado se han desarrollado varios temas que han requerido el uso de diversos conocimientos, desde principios de la electrónica hasta conocimiento de la mecánica de fluidos. Partiendo de una afición, como son los drones, se ha llevado a cabo una investigación, estudio y puesta en marcha de los conocimientos aprendidos.

Se ha demostrado que se puede aprender a montar tu propio dron de manera autodidacta, empezando por estudiar todos los componentes y accesorios, pasando por la selección de esos componentes y accesorios acorde a unas razones económicas para que el coste no sea excesivamente elevado, pero no por ello renunciando a una calidad de los mismos. También se ha llevado a cabo la configuración necesaria del dron para que este pueda volar.

Por otro lado, se ha demostrado que cuanto mayor es el ángulo de ataque de las palas, mayor es la fuerza de sustentación o empuje. Del mismo modo, se ha estudiado la influencia de este ángulo de ataque en la autonomía del dron llegando a la conclusión de que cuanto mayor sea el ángulo de ataque mayor será el consumo de batería y por tanto la autonomía del dron será menor. Esto debe ayudar a la correcta elección del ángulo de ataque puesto que dependiendo del uso que se le vaya a dar al cuadricoptero, se deberán montar una configuración u otra de ala. En el caso de este trabajo el dron diseñado es un dron de carreras, las carreras suelen ser cortas y muy rápidas por tanto una configuración de ala más agresiva puede ayudar a llegar antes a la meta.

También se ha estudiado la influencia del peso en la autonomía dando resultados obvios que cualquiera podría deducir, cuanto más peso, menor autonomía, pero en este trabajo se ha conseguido obtener una relación matemática obteniendo que con los tipos de pala utilizados por cada 100 gramos que se añadan al multirrotor, el consumo de batería aumentara un 20% aproximadamente.

Cada día tengo más convicción de que los drones formarán parte de nuestro futuro, tal y como se ha expuesto durante el trabajo sus utilidades a día de hoy son

muchas y cada día hay más. Este trabajo ha supuesto dificultades técnicas grandes que han sido subsanadas a base de mucha entrega y ganas de aprender sobre este mundo. Este trabajo para mí no termina aquí, voy a seguir aprendiendo y como he comentado anteriormente es posible que en un futuro esta sea mi forma de ganarme la vida y de dar empleo a otras personas

Desde pequeño me han gustado los vehículos de radiocontrol, el desmontar aparatos electrónicos para repararlos y las nuevas tecnologías. No cabe duda que esta afición por los drones reúne todos esos requisitos y cumple mis expectativas. Llevo volando drones alrededor de un año y me ha permitido, no solo mejorar en el vuelo y aprender a solucionar los problemas que surgen a diario en este hobby, sino que también me ha permitido conocer gente y disfrutar haciendo algo que me gusta. Espero haber transmitido toda esa pasión y aprendizaje en este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1 A. Tobalina, «Cope,» Cope, 19 Marzo 2018. [En línea]. Available:  
] [https://www.cope.es/actualidad/sociedad/noticias/espana-2035-mas-51400-drones-uso-operativo-11000-puestos-trabajo-20180319\\_175593](https://www.cope.es/actualidad/sociedad/noticias/espana-2035-mas-51400-drones-uso-operativo-11000-puestos-trabajo-20180319_175593). [Último acceso: 20 Diciembre 2018].
- [2 M. Mazariegos, «Ideas4allblog,» 18 Noviembre 2014. [En línea]. Available:  
] <https://blog.ideas4all.com/es/un-dron-de-salvamento-maritimo/>. [Último acceso: 20 Diciembre 2018].
- [3 P. Radiocontrol, «Prohobbys Radiocontol,» Blog aeromodelismo, 24 febrero 2015.  
] [En línea]. [Último acceso: 3 noviembre 2018].
- [4 Real Academia Española, Diccionario de la lengua española, Espasa, 2018.  
]
- [5 Airk Drones, «airk,» 21 junio 2016. [En línea]. Available:  
] [http://store.airk.eu/en/arik-drones-blog/18\\_I-have-a-drone-part-1.html](http://store.airk.eu/en/arik-drones-blog/18_I-have-a-drone-part-1.html). [Último acceso: 04 enero 2019].
- [6 DJI, «Store DJI,» [En línea]. Available: [https://store.dji.com/es/product/matrice-600-pro?set\\_country=es&gclid=CjwKCAiAkrTjBRAoEiwAXpf9CT1W07Mza9BWXzB67D2kQMJRZ\\_QsApEUvvXPKJyH0xNtAzzLrEJIfRoCjwgQAvD\\_BwE](https://store.dji.com/es/product/matrice-600-pro?set_country=es&gclid=CjwKCAiAkrTjBRAoEiwAXpf9CT1W07Mza9BWXzB67D2kQMJRZ_QsApEUvvXPKJyH0xNtAzzLrEJIfRoCjwgQAvD_BwE). [Último acceso: 10 enero 2019].
- [7 P. van Bleyenburgh, UAV systems: Global review, Amsterdam, 2006.  
]
- [8 Gerfpv, «Getfpv,» [En línea]. Available: <https://www.getfpv.com/tbs-caipirinha-fpv-flying-wing.html>. [Último acceso: 11 enero 2019].
- [9 Pose, C, Diseño de algoritmos de navegación y control para un hexarotor, Argentina,  
] 2015.
- [1 E. Santana, «xdrones,» 1 noviembre 2017. [En línea]. Available:  
0] <https://www.xdrones.es/tipos-de-drones-clasificacion-de-drones-categorias-de-drones/>. [Último acceso: 15 enero 2019].
- [1 P. Chacón, «Jugetrónica,» 2018. [En línea]. Available:  
1] <https://www.jugetronica.com/blog/futuro-drones-2018/>. [Último acceso: 25 enero 2018].
- [1 Unocero, «Unocero,» 27 agosto 2015. [En línea]. Available:  
<https://www.unocero.com/noticias/cruz-roja-mexicana-usara-drones-para->



- 2] emergencias-medicas/. [Último acceso: 25 enero 2019].
- [1 Gobierno de España, «Agencia Estatal de Seguridad Aérea,» [En línea]. Available:  
3] [https://www.seguridadaerea.gob.es/lang\\_castellano/cias\\_empresas/trabajos/rpas/default.aspx](https://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/cias_empresas/trabajos/rpas/default.aspx). [Último acceso: 28 enero 2019].
- [1 J. Dominguez, «20 minutos,» 2 julio 2016. [En línea]. Available:  
4] <https://www.20minutos.es/noticia/2786677/0/carrera-mundial-espana-fia-escorial-madrid/>. [Último acceso: 10 02 2019].
- [1 Jaime, «Dronespain,» 23 Mayo 2018. [En línea]. Available:  
5] <https://dronespain.pro/carreras-de-drones/>. [Último acceso: 25 enero 2019].
- [1 «El País,» Verne, 28 enero 2016. [En línea]. Available:  
6] [https://verne.elpais.com/verne/2016/01/28/articulo/1453968646\\_894313.html](https://verne.elpais.com/verne/2016/01/28/articulo/1453968646_894313.html). [Último acceso: 25 enero 2019].
- [1 Maker Media, Inc, DIY Drone and Quadcopter Projects, Maker Media, Inc, 2016.  
7]
- [1 «Aliexpress,» 2019. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/>. [Último  
8] acceso: 22 enero 2019].
- [1 LIFTOFF, «Steam,» [En línea]. Available:  
9] [https://store.steampowered.com/app/410340/Liftoff\\_FPV\\_Drone\\_Racing/?l=spanish](https://store.steampowered.com/app/410340/Liftoff_FPV_Drone_Racing/?l=spanish).  
.
- [2 Eric, «deDrones,» 2017. [En línea]. Available: <https://dedrones.es/1-montar-drone-0-carreras-paso-paso/>. [Último acceso: 2019].
- [2 M. Keller, «Betaflight wiki,» 6 diciembre 2018. [En línea]. Available:  
1] <https://github.com/betaflight/betaflight/wiki>. [Último acceso: 25 enero 2019].
- [2 C. S. Cordero y O. P. Curutchet, «Análisis, diseño estructural y construcción de un  
2] dron para la detección de minas antipersona,» [En línea]. Available:  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/102000/Resumen.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. [Último acceso: 1 febrero 2019].
- [2 W. F. M. McGraw-Hill, Mecánica de fluidos, Madrid, 2008.  
3]